

PENGARUH CAMPURAN BIODIESEL DARI MINYAK BIJI KAPAS PADA SOLAR TERHADAP KINERJA DAN EMISI GAS BUANG PADA MESIN DIESEL

Budi Tanuhita

S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: tanuhitabudi@yahoo.co.id

Muhaji

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: ita_aji@yahoo.com

Abstrak

Kendaraan bermotor di Indonesia pada akhir-akhir ini perkembangannya sangat pesat terutama pada kendaraan diesel. Penggunaan kendaraan diesel di Indonesia kebanyakan untuk transportasi umum dan kendaraan operasional pada perusahaan. Sehubungan dengan ini bahan bakar diesel sangat diperlukan untuk operasional kendaraan. Permasalahan bahan bakar minyak (BBM) adalah persoalan yang sulit dan berat. Minyak biji kapas merupakan minyak nabati yang tidak mengandung sulfur. Oleh karena itu, bahan bakar dari minyak biji kapas bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar biodiesel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran bahan bakar biodiesel dari minyak biji kapas dengan bahan bakar solar murni terhadap kinerja mesin diesel, konsumsi bahan bakar, dan kepekatan asap kendaraan. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen. Obyek penelitian ini adalah mesin diesel Mitsubishi Kuda. Campuran bahan bakar biodiesel dari minyak biji kapas dengan bahan bakar solar murni (B0, B5, B10, B15, dan B20) Pengujian kinerja mesin dilakukan dengan metode *full open throttle valve* dengan standar pengujian kinerja mesin berdasarkan SAE-J1349. Standar pengujian kepekatan asap mesin diesel berdasarkan SAE-J1667. Peralatan dan instrumen penelitian yang digunakan adalah *blower*, *stopwatch*, *fuel meter*, *smoke opacitymeter*, dan *eddycurrent chassis dynamometer*. Analisis data ini menggunakan metode deskriptif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja mesin dengan menggunakan bahan bakar campuran biodiesel dan solar mengalami peningkatan. Hal ini ditunjukkan dengan peningkatan torsi yang dihasilkan menggunakan campuran bahan bakar biodiesel (B20) sebesar 2,50 kgf.m dengan persentase peningkatan tertinggi adalah 18,84% pada putaran mesin 4500 rpm. Daya efektif yang dihasilkan menggunakan bahan bakar biodiesel (B10) sebesar 32,38 PS dengan persentase peningkatan tertinggi adalah 14,42% pada putaran mesin 4250 rpm. Tekanan efektif rata-rata yang dihasilkan menggunakan bahan bakar biodiesel (B10) sebesar 0,69 kg/cm² dengan persentase peningkatan tertinggi adalah 14,42% pada putaran mesin 4250 rpm. Sedangkan penurunan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan menggunakan bahan bakar biodiesel (B5) sebesar 3,43 kg/jam dengan persentase penurunan tertinggi adalah 14,46% pada putaran mesin 4500 rpm, dan penurunan opasitas biodiesel dari minyak biji kapas dengan solar dapat menurunkan opasitas sebesar 5,340% dengan persentase penurunan tertinggi adalah 66,67% pada putaran 2500 rpm. Campuran bahan bakar biodiesel dengan solar yang optimal pada kinerja mesin dan opasitas yaitu campuran B10.

Kata kunci: Biodiesel, solar, kinerja mesin, dan opasitas.

Abstract

Lately, motor vehicles in Indonesia is developing rapidly, especially diesel vehicles. More over, because the use of diesel vehicles in Indonesia is mainly for public transportation and operational vehicles of companies. In relation with this, diesel fuel is required for operational vehicles. The problem of fuel is is a very complicated and hard problem. Cotton seed oil is a vegetable oil that does not contain sulphur. Therefore, fuel from cotton seed oil can be utilized as biodiesel fuel. This research is aimed to understand the effect of mixed biodiesel fuel from cotton seed oil with pure solar fuel towards the performance of diesel engines, fuel consumption, exhaust gas emissions, and the smoke density of the vehicles. The type of research used is experiment research. The research object is diesel engines Mitsubishi Kuda. The mixed biodiesel fuel from cotton seed oil with pure solar fuel (B0, B5, B10, and B20). The testing of the engine performance was done by full open throttle valve method with the standard testing of engine performance based on SAE-J1349. The testing standard for exhaust gas emission and smoke density of

diesel engines is based on SAE-J1667. The research equipment and instrument used are blower, stopwatch, fuel meter, smoke opacitymeter, and eddycurrent chassis dynamometer. The analysis of this data used descriptive method. The result indicates that the engine perform is increasing while using mixed biodiesel and solar. This is shown by the increasing of torque produced by using mixed biodiesel fuel (B20) of 2,50 kgf.m with the highest percentage of increasing is 18,84% on the round of 4500 rpm. the increasing of effective capacity that produced by solar fuel (B10) is 32,38 PS with the highest percentage of increasing is 14,42% on the round of 4250 rpm. The average of effective pressure produced by biodiesel fuel (B10) is 0,69 kg/cm² with the highest percentage of increasing is 14,42% in the round of 4250 rpm. Meanwhile, the decreasing of fuel consumption produced by biodiesel fuel (B5) is 3,43 kg/hour with the highest percentage of decreasing is 14,46% on the round of 4500 rpm. And the decreasing of biodiesel opacity from the cotton seed oil with solar can lower the opacity of 5,340% with the highest percentage of the decreasing is 66,67% on the round of 2500 rpm. The mixed of biodiesel fuel with diesel optimal in the engine performance and opacity that is the mixed of B10.

Key words: Biodiesel, diesel oil, engine performance, and opacity.

PENDAHULUAN

Konsumsi bahan bakar di Indonesia untuk transportasi dan industri masih menempati urutan tertinggi berturut-turut yaitu untuk transportasi sebesar 37,7 %, untuk industri sebesar 36,2 %, dan untuk rumah tangga sebesar 26,1 % (jurnal penelitian ilmu teknik no.2 2009:129). Energi untuk transportasi dan industri umumnya menggunakan bahan bakar minyak bumi. Kebijakan energi di Indonesia berusaha terus menerus mengurangi konsumsi energi berbasis bahan bakar minyak bumi (BBM) yaitu dengan cara mengoptimalkan penggunaan energi yang terbarukan (*renewable*) dan mengurangi subsidi BBM.

Kebutuhan energi khususnya minyak bumi dari hari ke hari semakin meningkat, bahkan konsumsinya melebihi kapasitas yang seharusnya. Total kapasitas terpasang kilang minyak bumi milik negeri dan milik swasta saat ini mencapai sekitar 1.156 juta barel per hari yang digunakan untuk mengolah minyak bumi produksi dalam negeri maupun impor untuk menghasilkan berbagai produk BBM dan non BBM (badan penelitian dan pengembangan pertanian 2011).

Produksi BBM nasional pada tahun 2006 mencapai 40,9 juta kilo liter atau turun sekitar 3,9 % dibandingkan tahun 2005 (*Departement of Energy* 2011). Dari jenis BBM yang dihasilkan, produksi ADO (*Automotive Diesel Oil*) serta bensin (*gasoline*) mendominasi produk kilang minyak saat ini menyusul tingginya kebutuhan BBM pada sektor transportasi dan industri. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak bumi di dunia, namun sampai saat ini masih mengimpor BBM untuk mencukupi kebutuhan di sektor transportasi dan energi.

Total konsumsi minyak bumi Indonesia tahun 2009 sebesar 1,2 jutabarel per hari dan total *supply* minyak bumi sebesar 1 jutabarel per hari (*International Energy Statistic*, 2011). Kebutuhan BBM diproyeksikan meningkat rata-rata 3,18 % per tahun selama tahun 2006 sampai dengan tahun 2030. Konsumsi bensin dan ADO tumbuh rata-rata 5,68 % per tahun dan 2,18 % per tahun. Konsumsi bahan bakar pada sektor transportasi dan pada

sektor ini terjadi kenaikan emisi gas yang paling cepat. Tumbuhan-tumbuhan dapat membuat makanan untuk diri mereka sendiri melalui proses fotosintesis, yang memanfaatkan energi matahari.

Energi yang mereka serap tidak dapat musnah begitu saja. Energi itu tetap tersimpan di dalam sisa-sisa tumbuhan tersebut, bahkan setelah mereka mati dan membusuk. Bahan bakar fosil di bentuk dari tumbuh-tumbuhan kecil dan hewan-hewan yang hidup jutaan tahun yang lalu. Batu bara terbuat dari sisa-sisa tumbuhan. Minyak dan gas alam terbentuk ketika organisme laut mati dan tenggelam ke dasar laut.

Dari hasil tersebut dapat diamati biodiesel yang dihasilkan memenuhi semua parameter SNI (Standar National Indonesia) yang ditetapkan. Artinya, biodiesel yang dihasilkan dari penelitian ini dapat secara langsung dipakai sesuai kegunaannya, yaitu sebagai bahan bakar pengganti solar. Penerapan peraturan emisi kendaraan mendorong diturunkannya kadar belerang dalam minyak solar. Penurunan kadar belerang dapat menurunkan emisi gas buang kendaraan berupa gas SO_x dan SPM (*Solid Particulate Matters*) yang mengotori udara.

Solar yang berkadar belerang rendah memiliki daya pelumasan rendah. Sementara itu produksi solar Indonesia masih sangat tinggi kadar belerangnya (1500-4100 ppm) dengan demikian biodiesel sebagai campuran minyak solar mempunyai dua keuntungan sekaligus. Pertama yaitu biodiesel mempunyai kadar belerang yang jauh lebih kecil (sangat ramah lingkungan karena kadar belerang kurang dari 15 ppm) dan yang kedua adalah biodiesel dapat meningkatkan daya pelumasan. Viskositas biodiesel lebih tinggi dibandingkan viskositas solar, sehingga biodiesel mempunyai daya pelumasan yang lebih baik dari pada solar.

Mampu melumasi mesin dan sistem bahan bakar, maka dapat menurunkan keausan piston sehingga mesin yang menggunakan bahan bakar biodiesel menjadi lebih awet. Selain itu biodiesel sudah mengandung oksigen dalam senyawanya, sehingga pembakaran di dalam mesin nyaris sempurna dan hanya membutuhkan udara dan bahan bakar rendah. Dengan demikian emisi senyawa karbon non-CO₂ dalam gas buang kendaraan

sangat kecil dan penggunaan bahan bakar lebih efisien. Produksi kapas sangat efisien dimana hanya sekitar kurang dari sepuluh persen berat dari kapas yang terbuang sewaktu dilakukan pengolahan awal sehingga menjadi bahan baku. Tanaman kapas tumbuh pada daerah tropis dan subtropis yang beriklim hangat (panas).

Batasan Masalah

Pada penelitian ini hanya membahas pengaruh campuran bahan bakar biodiesel dari minyak biji kapas pada solar terhadap torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar, dan tekanan efektif rata-rata saja. Tidak membahas efisiensi *thermal* dan konsumsi bahan bakar spesifik. Pada penelitian ini hanya membahas pengaruh campuran biodiesel dari minyak biji kapas pada solar terhadap opasitas saja. Tidak membahas emisi gas buang (CO , HC , CO_2 , dan NO_x). Solar yang digunakan pada penelitian ini menggunakan produk dari PT. Pertamina. Objek kendaraan yang digunakan pada penelitian ini adalah mobil Mitsubishi Kuda Diesel type GLX tahun 2000.

Rumusan Masalah

Seberapa besar pengaruh campuran bahan bakar biodiesel dari minyak biji kapas dengan solar murni terhadap kinerja mesin yang meliputi torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar, dan tekanan efektif rata-rata ?. Seberapa besar pengaruh campuran biodiesel dari minyak biji kapas dengan solar murni terhadap opasitas ?. Berapakah campuran bahan bakar biodiesel dari minyak biji kapas dengan solar murni yang optimal untuk mengetahui pengaruh kinerja mesin diesel ?.

Tujuan Penelitian

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh campuran bahan bakar biodiesel dari minyak biji kapas dengan solar murni terhadap kinerja mesin diesel. Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh campuran bahan bakar biodiesel dari minyak biji kapas dengan solar murni terhadap opasitas pada mesin diesel. Untuk mengetahui campuran bahan bakar biodiesel dari minyak biji kapas dengan solar murni yang optimal untuk mempengaruhi kinerja mesin dan opasitas mesin diesel.

Manfaat Penelitian

Sebagai solusi untuk mereduksi opasitas pada mesin diesel. Menggunakan bahan bakar biodiesel kendaraan akan lebih ramah lingkungan dan tahan lama. Konsumsi bahan bakar akan lebih irit apabila menggunakan biodiesel. Semakin banyak bahan bakar alternatif, maka penggunaan minyak bumi bisa lebih hemat.

METODE

Jenis Penelitian

Pada jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen (*experimental research*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja mesin dan emisi gas buang yang menggunakan bahan bakar biodiesel dari minyak biji kapas pada mesin diesel empat langkah. Penelitian ini berusaha untuk membandingkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan kelompok eksperimen yang akan melakukan penelitian (yang dimanipulasi).

Waktu dan Tempat Penelitian

- Waktu
Penelitian ini dilaksanakan setelah seminar proposal skripsi.
- Tempat
Untuk pengambilan data uji karakteristik bahan bakar dilaksanakan di PT. Pertamina dan Lab. Motor Bakar Universitas Brawijaya. Pengambilan data kinerja mesin di Bengkel Elysium *Autotech* Jalan Raya Kendang Sari Nomor 43 Surabaya. Sedangkan untuk pengambilan data opasitas dilaksanakan di PT. Murni Berlian Motors Jl. Demak No. 172 Surabaya.

Objek Penelitian

Pada objek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah mobil Mitsubishi Kuda Diesel type GLX tahun 2000.

Variabel Penelitian

Pada Variabel penelitian adalah suatu atribut atau suatu sifat atau nilai dari orang, obyek, atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulannya (Sugiono, 2008:38).

Variabel yang termasuk dalam penelitian eksperimen ini adalah:

- Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi terhadap timbulnya variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah bahan bakar biodiesel dari minyak biji kapas dengan bahan bakar solar murni pada mesin diesel empat langkah dengan variasi campuran yang optimal.

- Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah :

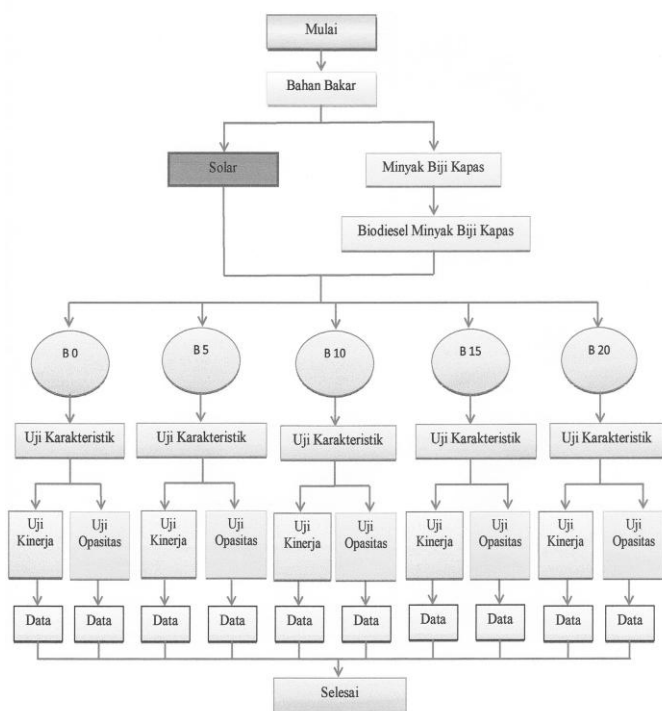
- Kinerja mesin (torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar, dan tekanan efektif rata-rata).
- Kadar emisi gas buang yang dihasilkan dari kendaraan Mitsubishi Kuda Diesel yaitu kepekatan asap (*smoke opacity*).

- Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang dikendalikan sehingga pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

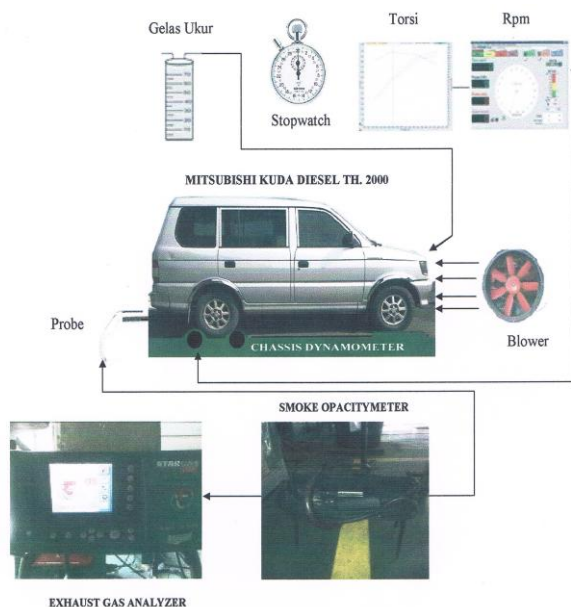
- Putaran mesin.
- Bahan bakar solar.
- Temperatur oli mesin.

Desain Eksperimen



Gambar 1. Desain Eksperimen

Peralatan dan Instrumen Penelitian



Gambar 2. Peralatan dan Instrumen Penelitian

Standar Pengujian

Untuk mendapatkan data kinerja mesin dalam penelitian ini digunakan metode pengujian kecepatan berubah pada beban penuh (*full open throttle valve*). Untuk mendapatkan data kinerja mesin berpedoman pada standar SAE J1349 dan kepekatan asap mesin diesel berpedoman pada standar SAE J1667.

Teknik Pengumpulan Data

Pada data yang diperoleh dari penelitian ini dengan cara melakukan eksperimen melalui pengujian terhadap objek yang diteliti dan mencatat data-data yang diperlukan.

Analisis Data

Analisis data menggunakan metode deskriptif, yaitu dengan mendeskripsikan atau menggambarkan secara sistematis, faktual dan akurat mengenai realita yang diperoleh selama pengujian. Data hasil penelitian yang diperoleh dimasukkan dalam tabel dan ditampilkan dalam bentuk grafik. Selanjutnya dideskripsikan dengan kalimat sederhana sehingga mudah dipahami untuk mendapatkan jawaban dari permasalahan yang diteliti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Pada pengujian karakteristik bahan bakar campuran biodiesel dari minyak biji kapas (B5, B10, B15, dan B20) dilakukan di Laboratorium Pertamina Unit Produksi Pelumas Surabaya (UPPS) dan Laboratorium Bahan Bakar Minyak (BBM) yang bertempat di Jl. Perak No. 227 Surabaya, dan untuk pengujian nilai kalor dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Universitas Brawijaya Malang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Karakteristik Solar dan Campuran Solar dengan Biodiesel Minyak Biji Kapas (B5, B10, B15, dan B20)

Jenis Pemeriksaan	Satuan	Hasil Pemeriksaan					Metode
		DO 100%	B5%	B10%	B15%	B20%	
Density at 15 °C	(g/cm ³)	0,8520	0,8553	0,85515	0,86421	0,86397	ASTM D1298
Viscosity Kinematic at 40 °C	Cst	3,652	3,998	4,469	4,928	5,357	ASTM D7279
Flash Point	°C	63	62,0	63,0	64,0	64,0	ASTM D9311
Pour Point	°C	-	-7	-9	-6	-8	ASTM D9708a
Cetane Index	-	50,99952	51,52061	51,26929	50,01552	50,08813	ASTM D8611a
Nilai Kalor	Kcal/g	11620,31	11326,437	11228,513	11031,464	9953,394	ASTM

Analisis dan Pembahasan Torsi

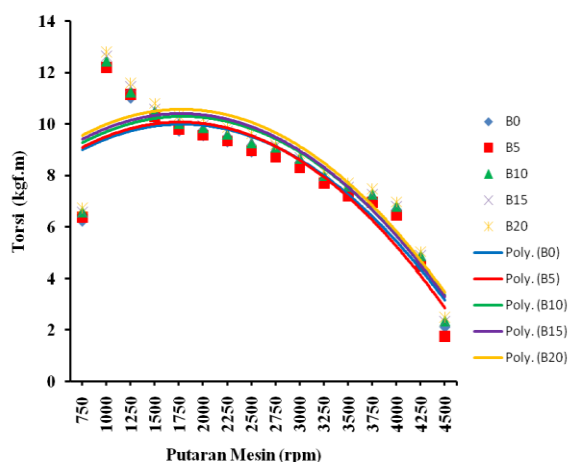
Sebuah parameter yang sangat penting dalam kinerja mesin adalah torsi. Pada penelitian ini pengujian torsi menggunakan *dynostar*, sebagai suatu hasil pembakaran yang terjadi pada ruang silinder. Perubahan torsi pada berbagai campuran bahan bakar solar dengan biodiesel (B5, B10, B15, dan B20) ditunjukkan pada tabel 2. Persentase perubahan torsi diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta\% = \frac{\text{Torsi B(x)} - \text{Torsi B0}}{\text{Torsi B0}} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 2. Presentase Perubahan Torsi

Putaran (rpm)	Torsi (kgf.m)					Persentase Perubahan ($\Delta\%$)			
	DO 100	B5	B10	B15	B20	B5	B10	B15	B20
750	6,22	6,38	6,59	6,57	6,74	2,60	5,94	5,66	8,29
1000	12,20	12,21	12,44	12,64	12,80	0,08	1,97	3,64	4,93
1250	11,00	11,15	11,24	11,45	11,58	1,35	2,15	4,07	5,25
1500	10,20	10,31	10,49	10,58	10,80	1,07	2,83	3,70	5,83
1750	9,72	9,80	10,02	10,15	10,33	0,78	3,05	4,45	6,23
2000	9,54	9,57	9,86	9,96	10,18	0,36	3,39	4,35	6,74
2250	9,30	9,35	9,61	9,71	9,86	0,50	3,28	4,45	6,06
2500	8,91	8,97	9,27	9,38	9,63	0,66	4,02	5,32	8,07
2750	8,72	8,72	9,10	9,14	9,20	0,01	4,38	4,81	5,55
3000	8,32	8,32	8,67	8,69	8,86	-0,04	4,21	4,49	6,50
3250	7,70	7,71	8,00	7,97	8,16	0,10	3,94	3,46	5,93
3500	7,38	7,21	7,59	7,54	7,71	-2,33	2,88	2,23	4,44
3750	7,02	6,97	7,27	7,26	7,49	-0,71	3,60	3,40	6,70
4000	6,67	6,45	6,81	6,81	6,98	-3,25	2,05	2,10	4,60
4250	4,71	4,48	4,89	4,89	5,05	-4,86	3,88	3,88	7,20
4500	2,10	1,75	2,36	2,33	2,50	-16,78	12,52	10,74	18,84
Rata-rata						-1,28	4,01	4,42	6,95

Dari data pada tabel 2. apabila dibentuk dalam grafik akan tampak seperti pada gambar 3 sebagai berikut:

**Gambar 3.** Hubungan antara Putaran Mesin Terhadap Torsi

Berdasarkan gambar 3, grafik torsi cenderung mengalami peningkatan pada putaran 750 rpm sampai 1500 rpm. Hal ini disebabkan karena campuran biodiesel dari minyak biji kapas yang digunakan memiliki karakteristik pembakaran yang lebih baik dari pada solar yaitu angka *cetane* dan titik nyala yang terkandung dalam campuran solar dengan biodiesel minyak biji kapas lebih tinggi nilainya ditunjukkan pada tabel 1. Rata-rata mesin diesel membutuhkan angka *cetane* 40 hingga 45. Dari hasil penelitian *cetane index* yang dimiliki campuran solar dengan biodiesel semakin turun yaitu *cetane index* 51,52061 pada campuran B5, *cetane index* 51,26929 pada campuran B10, *cetane index* 50,01552 pada campuran B15, dan *cetane index* 50,08813 pada campuran B20. Semakin tinggi *cetane index* dari bahan bakar akan menghasilkan peningkatan kinerja pembakaran bahan bakar dan meningkatkan kinerja mesin.

Pada rentang putaran 1500 rpm sampai 2250 rpm torsi masih mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena dengan putaran mesin yang semakin tinggi, maka efisiensi volumetrik semakin meningkat pula. Peningkatan efisiensi volumetrik ini mengakibatkan

bahan bakar yang dikompresikan lebih banyak, sehingga ledakan yang terjadi pada saat pembakaran lebih besar. Ledakan tersebut menghasilkan gaya dorong yang besar pada kepala piston. Gaya dorong inilah yang mengakibatkan torsi menjadi meningkat. Selain itu peningkatan torsi yang menggunakan bahan bakar campuran biodiesel pada mesin ini disebabkan oleh *cetane index* dan titik nyala yang meningkat.

Pada putaran 2250 rpm sampai 4500 rpm cenderung mengalami penurunan pada berbagai campuran solar dengan biodiesel. Hal ini disebabkan karena putaran mesin semakin tinggi sehingga gesekan pada dinding silinder semakin besar, proses pembakarannya semakin kurang sempurna dan piston tidak memiliki cukup waktu untuk mengisi volume ruang bakar secara penuh. Bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar mulai berkurang sehingga tekanan kompresi menurun, torsi yang dihasilkan semakin kecil.

Hasil penelitian ditunjukkan bahwa penggunaan campuran solar dengan biodiesel dari minyak kapas dapat meningkatkan torsi yang dihasilkan mesin Mitsubishi Kuda Diesel tahun 2000 dari pada menggunakan bahan bakar solar. Dari semua campuran bahan bakar solar dengan biodiesel, semakin banyak campuran biodiesel menunjukkan adanya peningkatan torsi yang dihasilkan pada campuran B20.

Analisis dan Pembahasan Daya Efektif

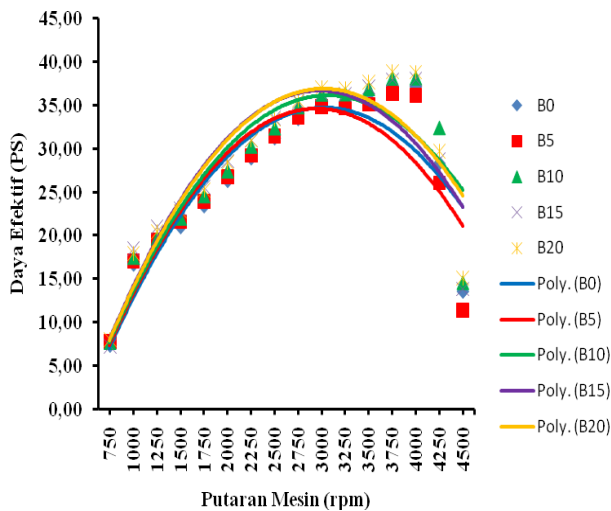
Perubahan daya efektif pada penggunaan campuran bahan bakar solar dengan biodiesel B5, B10, B15, dan B20 pada Mitsubishi Kuda Diesel tahun 2000, ditunjukkan pada tabel 4.24. Persentase perubahan daya efektif ($\Delta\%$) diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta\% = \frac{\text{Daya B(x)} - \text{Daya B0}}{\text{Daya B0}} \times 100\% \quad (2)$$

Tabel 3. Presentase Perubahan Daya

Putaran (rpm)	Daya Efektif (PS)					Persentase Perubahan ($\Delta\%$)			
	DO 100	B5	B10	B15	B20	B5	B10	B15	B20
750	7,40	7,81	7,71	7,30	7,98	5,51	4,14	-1,34	7,79
1000	16,70	17,07	17,47	18,56	17,91	2,21	4,64	11,11	7,27
1250	19,00	19,54	19,71	21,02	20,45	2,82	3,71	10,65	7,63
1500	21,00	21,60	22,00	23,12	22,75	2,85	4,78	10,09	8,32
1750	23,40	23,90	24,54	25,62	25,25	2,12	4,87	9,49	7,90
2000	26,30	26,74	27,41	28,63	28,36	1,66	4,23	8,85	7,83
2250	28,90	29,20	30,25	30,99	30,96	1,05	4,67	7,25	7,13
2500	31,20	31,40	32,35	33,60	33,33	0,64	3,68	7,68	6,82
2750	33,40	33,53	34,78	35,42	35,52	0,39	4,13	6,06	6,36
3000	34,90	34,78	36,23	36,34	36,98	-0,34	3,82	4,11	5,95
3250	35,10	34,65	36,27	36,30	36,88	-1,30	3,33	3,42	5,06
3500	35,70	35,08	36,88	37,15	37,62	-1,72	3,29	4,05	5,38
3750	36,80	36,34	38,06	37,99	38,87	-1,26	3,42	3,24	5,63
4000	37,10	36,10	38,09	38,06	38,80	-2,70	2,68	2,58	4,59
4250	28,30	26,06	32,38	28,80	29,71	-7,92	14,42	1,76	4,98
4500	13,60	11,39	14,60	13,89	15,07	-16,25	7,36	2,15	10,84
Rata-rata						-0,76	4,82	5,70	6,84

Dari data pada tabel 3. apabila dibentuk dalam grafik akan tampak seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara Putaran Mesin Terhadap Daya Efektif

Berdasarkan gambar 4 di atas, grafik daya efektif cenderung mengalami peningkatan diberbagai tingkat rpm pada campuran biodiesel minyak biji kapas dibanding minyak solar, peningkatan dari putaran 1000 rpm sampai 2000 rpm. Hal ini disebabkan karena torsi yang dihasilkan meningkat. Campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar berlangsung mendekati sempurna dan mengakibatkan daya efektif yang dihasilkan mesin meningkat.

Putaran 2000 rpm sampai 3250 rpm daya masih mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena putaran mesin yang semakin meningkat sehingga mengakibatkan tekanan di ruang bakar semakin meningkat, maka daya yang dihasilkan juga meningkat. Selain itu peningkatan daya efektif disebabkan karena *cetane index* yang dimiliki campuran solar dengan biodiesel minyak biji kapas nilainya lebih tinggi dibandingkan solar.

Pada putaran 3250 rpm sampai 4500 rpm, grafik daya efektif mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena pada putaran tinggi torsi mengalami penurunan dan torak tidak mempunyai waktu yang cukup untuk menghisap campuran udara dan bahan bakar, sehingga volume bahan bakar yang dihisap semakin berkurang dan tekanan kompresi menurun. Hal itu menyebabkan proses pembakaran menjadi tidak sempurna. Akibatnya daya efektif yang dihasilkan juga menurun.

Hasil penelitian ditunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar campuran biodiesel dengan solar dapat meningkatkan daya efektif yang dihasilkan mesin Mitsubishi Kuda Diesel tahun 2000 daripada menggunakan bahan bakar solar. Dari semua bahan bakar, daya paling baik atau bisa dikatakan paling tinggi dihasilkan pada campuran biodiesel B20.

Analisis dan Pembahasan Tekanan Efektif Rata-rata

Perubahan tekanan efektif rata-rata pada penggunaan bahan bakar solar dan biodiesel B5, B10, B15, dan B20 pada mesin Mitsubishi Kuda Diesel tahun 2000, ditunjukkan pada tabel 4. Persentase perubahan

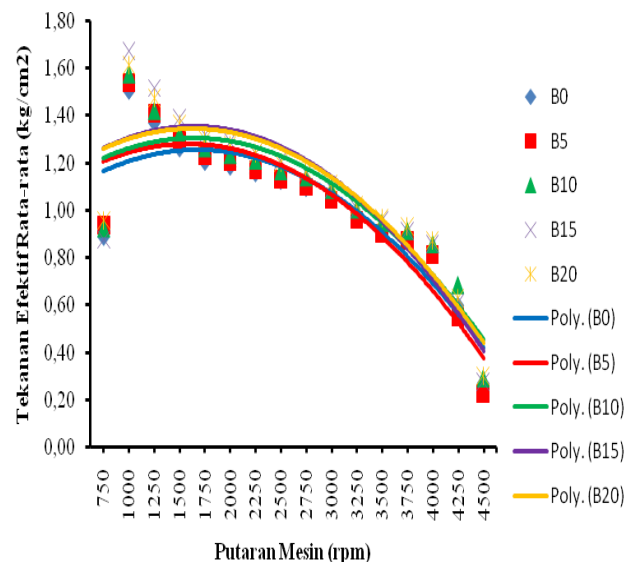
tekanan efektif rata-rata ($\Delta\%$) diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta \% = \frac{\text{Bmep B(x)} - \text{Bmep B0}}{\text{Bmep B0}} \times 100\% \quad (3)$$

Tabel 4. Presentase Perubahan Tekanan Efektif Rata-rata

Putaran (rpm)	Tekanan Efektif Rata-rata (kg/cm ²)					Persentase Perubahan ($\Delta\%$)			
	DO 100	B5	B10	B15	B20	B5	B10	B15	B20
750	3,56	3,75	3,71	3,51	3,84	5,51	4,14	-1,34	7,79
1000	6,02	6,15	6,30	6,69	6,46	2,21	4,64	11,11	7,27
1250	5,48	5,64	5,68	6,06	5,90	2,82	3,71	10,65	7,63
1500	5,05	5,19	5,29	5,56	5,47	2,85	4,78	10,09	8,32
1750	4,82	4,92	5,06	5,28	5,20	2,12	4,87	9,49	7,90
2000	4,74	4,82	4,94	5,16	5,11	1,66	4,23	8,85	7,83
2250	4,63	4,68	4,85	4,97	4,96	1,05	4,67	7,25	7,13
2500	4,50	4,53	4,67	4,85	4,81	0,64	3,68	7,68	6,82
2750	4,38	4,40	4,56	4,64	4,66	0,39	4,13	6,06	6,36
3000	4,19	4,18	4,36	4,37	4,44	-0,34	3,82	4,11	5,95
3250	3,89	3,84	4,02	4,03	4,09	-1,30	3,33	3,42	5,06
3500	3,68	3,61	3,80	3,83	3,88	-1,72	3,29	4,05	5,38
3750	3,54	3,49	3,66	3,65	3,74	-1,26	3,42	3,24	5,63
4000	3,34	3,25	3,43	3,43	3,50	-2,70	2,68	2,58	4,59
4250	2,40	2,21	2,75	2,44	2,52	-7,92	14,42	1,76	4,98
4500	1,09	0,91	1,17	1,11	1,21	-16,25	7,36	2,15	10,84
Rata-rata						-0,76	4,82	5,70	6,84

Dari data pada tabel 4 apabila dibentuk dalam grafik akan tampak seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Hubungan antara Putaran Mesin dengan Tekanan Efektif Rata-rata

Berdasarkan gambar 5 di atas, pada berbagai tingkat rpm campuran solar dengan biodiesel, grafik tekanan efektif rata-rata cenderung mengalami peningkatan pada putaran 750 rpm sampai 1500 rpm. Hal ini disebabkan karena dengan putaran mesin yang semakin naik, maka turbulensi aliran yang masuk ke ruang bakar semakin naik.

Pada putaran 1500 rpm sampai 3000 rpm masih meningkat kemudian sedikit mulai mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena dengan putaran mesin yang semakin naik, maka turbulensi aliran yang

masuk ke ruang bakar semakin naik dan mengakibatkan titik nyala api (*flash point*) semakin cepat. Proses pembakaran berlangsung mendekati sempurna sehingga tekanan kompresi dan temperatur yang dihasilkan semakin tinggi. Selain itu dikarenakan *cetane index* campuran biodiesel lebih tinggi dibandingkan dengan solar. Meningkatnya *cetane index* campuran biodiesel menyebabkan proses pembakaran di ruang bakar semakin baik. Hal ini mengakibatkan tekanan efektif rata-rata yang dihasilkan kendaraan akan meningkat juga.

Pada rentang putaran 3000 rpm sampai 4500 rpm, grafik tekanan efektif rata-rata cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena pada putaran tinggi piston hanya mempunyai waktu sedikit untuk menghisap campuran udara dan bahan bakar, sehingga volume bahan bakar yang dihisap semakin berkurang dan tekanan kompresi menurun. Selain itu pada putaran tinggi terjadi gesekan yang sangat besar sehingga bahan bakar yang diinjeksikan terlambat dan proses pembakarannya tidak sempurna.

Hasil penelitian ditunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar campuran biodiesel dapat meningkatkan tekanan efektif rata-rata yang dihasilkan mesin Mitsubishi Kuda Diesel tahun 2000. Dari semua campuran biodiesel dibandingkan solar tekanan efektif rata-rata paling baik atau paling tinggi dihasilkan oleh campuran biodiesel B20.

Analisis dan Pembahasan Konsumsi Bahan Bakar

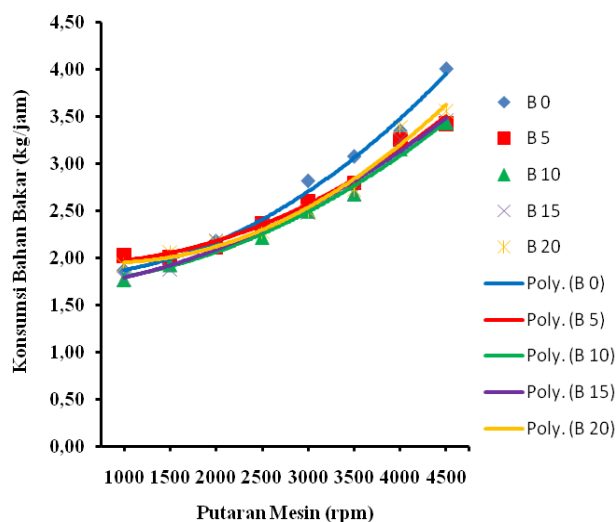
Perubahan konsumsi bahan bakar pada penggunaan bahan bakar solar dan campuran biodiesel (B5, B10, B15, dan B20) pada mesin Mitsubishi Kuda Diesel tahun 2000, ditunjukkan pada tabel 5. Persentase perubahan konsumsi bahan bakar ($\Delta\%$) diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta\% = \frac{FC B(x) - FC B0}{FC B0} \times 100\% \quad (4)$$

Tabel 5. Presentase Perubahan Konsumsi Bahan Bakar

Putaran (rpm)	Konsumsi Bahan Bakar (kg/jam)					Persentase Perubahan ($\Delta\%$)			
	DO 100	B5	B10	B15	B20	B5	B10	B15	B20
1000	1,87	2,03	1,77	1,78	1,92	8,56	-5,35	-4,81	2,67
1500	2,00	2,01	1,93	1,88	2,06	0,50	-3,50	-6,00	3,00
2000	2,18	2,12	2,14	2,18	2,17	-2,75	-1,83	0,00	-0,46
2500	2,33	2,37	2,22	2,35	2,28	1,72	-4,72	0,86	-2,15
3000	2,82	2,60	2,50	2,48	2,50	-7,80	-11,35	-12,06	-11,35
3500	3,08	2,80	2,68	2,68	2,73	-9,09	-12,99	-12,99	-11,36
4000	3,35	3,26	3,16	3,26	3,39	-2,69	-5,67	-2,69	1,19
4500	4,01	3,43	3,44	3,46	3,56	-14,46	-14,21	-13,72	-11,22
Rata-rata						-3,25	-7,45	-6,43	-3,71

Dari data pada tabel 5. apabila dibentuk dalam grafik akan tampak seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Hubungan antara Putaran Mesin Terhadap fc Pemakaian konsumsi bahan bakar (*fuel consumptions*) adalah suatu ukuran banyaknya bahan bakar yang digunakan suatu mesin pada waktu tertentu. Ukuran ini dapat digunakan sebagai indikator efisiensi kendaraan. Penelitian ini menunjukkan adanya perbedaan konsumsi bahan bakar antara solar dan berbagai campuran biodiesel. Semakin banyak campuran biodiesel menunjukkan makin rendah konsumsi bahan bakarnya bila dibandingkan dengan solar.

Berdasarkan gambar 6 di atas pada putaran 1000 rpm sampai putaran 2000 rpm, pemakaian konsumsi bahan bakar tidak terlalu banyak yaitu sebesar 1,88 kg/jam mengalami penurunan 6,00%. Hal ini disebabkan karena putaran mesin yang masih lambat (putaran *idle*), jadi tidak banyak konsumsi bahan bakar yang dikonsumsi.

Pada putaran 1000 rpm sampai 3500 rpm sebesar 2,68 kg/jam mengalami penurunan 12,99%. Hal ini disebabkan putaran mesin mulai meningkat menjadi semakin tinggi jadi konsumsi bahan bakar yang dikonsumsi semakin meningkat. Penurunan konsumsi bahan bakar pada campuran biodiesel disebabkan karena nilai angka *cetane* dan titik nyala pada B5 paling tinggi, jadi proses pembakaran yang berlangsung semakin baik.

Pada putaran 3500 rpm sampai putaran 4500 rpm, konsumsi bahan bakar dengan menggunakan bahan bakar solar dihasilkan pada putaran 4500 rpm sebesar 4,01 kg/jam. Konsumsi bahan bakar yang dihasilkan ketika menggunakan campuran bahan bakar solar dengan biodiesel minyak biji kapas (B5, B10, B15, dan B20) paling banyak penurunan konsumsi bahan bakar pada campuran B5 mengalami penurunan menjadi 3,43 kg/jam pada putaran 4500 rpm hal ini mengalami penurunan sebesar 14,46%. Hal ini dipengaruhi oleh proses pembakaran yang berlangsung dalam mesin dan besarnya udara dan bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin.

Hasil penelitian ditunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar campuran biodiesel dari minyak biji kapas dapat menghemat konsumsi bahan bakar yang dihasilkan mesin diesel Mitsubishi Kuda Diesel tahun 2000 daripada menggunakan bahan bakar solar. Dari semua campuran bahan bakar, bisa dikatakan lebih baik daripada solar dan

konsumsi bahan bakar yang paling rendah dihasilkan dari campuran biodiesel B5.

Analisis dan Pembahasan Kepekatan Asap (Opasitas)

Pada semua campuran bahan bakar solar dengan biodiesel menunjukkan adanya perbaikan kualitas opasitas yang dikeluarkan. Penurunan opasitas dapat diamati pada data tabel 6 di bawah ini. Besarnya penurunan ini karena tercukupinya jumlah udara dalam silinder, sehingga sebagian besar bahan bakar bercampur secara ideal pada saat bahan bakar berbentuk uap dan juga karena bahan bakar biodiesel berasal bahan bakar nabati yang tidak mengandung sulfur. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya penurunan emisi yang berupa opasitas begitu signifikan.

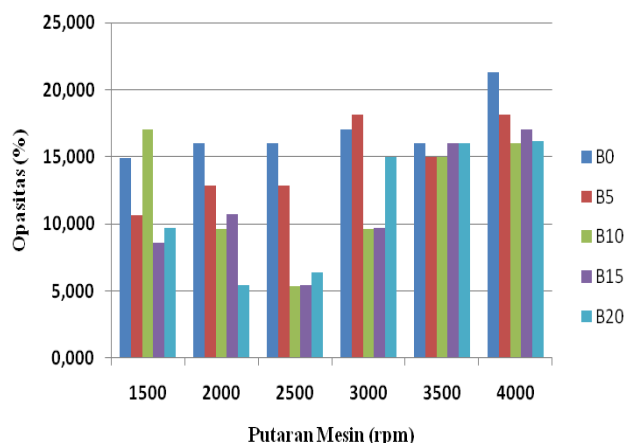
Besarnya penurunan opasitas mesin diesel Mitsubishi Kuda Diesel tahun 2000 pada campuran solar dengan biodiesel dari minyak biji kapas memiliki kecenderungan semakin baik, dimana pada semua campuran bahan bakar memiliki tingkat opasitas yang lebih baik dari pada minyak diesel. Persentase perubahan opasitas ($\Delta\%$) diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta\% = \frac{\text{Opasitas B(x)} - \text{Opasitas B0}}{\text{Opasitas B0}} \times 100\% \quad (5)$$

Tabel 6. Presentase Perubahan Opasitas

Putaran (rpm)	Opasitas (%)					Persentase Perubahan ($\Delta\%$)			
	DO 100	B5	B10	B15	B20	B5	B10	B15	B20
1500	14,921	10,663	17,064	8,629	9,672	-28,54	14,36	-42,17	-35,18
2000	16,020	12,850	9,620	10,689	5,409	-19,79	-39,95	-33,28	-66,24
2500	16,020	12,870	5,340	5,409	6,412	-19,66	-66,67	-66,24	-59,98
3000	17,023	18,121	9,589	9,672	14,990	6,45	-43,67	-43,18	-11,94
3500	16,009	14,955	14,949	15,989	15,999	-6,58	-6,62	-0,12	-0,06
4000	21,308	18,134	16,023	17,064	16,166	-14,90	-24,80	-19,92	-24,13
Rata-rata presentase penurunan						-13,84	-27,89	-34,15	-32,92

Dari data tabel 6. apabila dibentuk dalam diagram akan tampak seperti pada gambar 7.



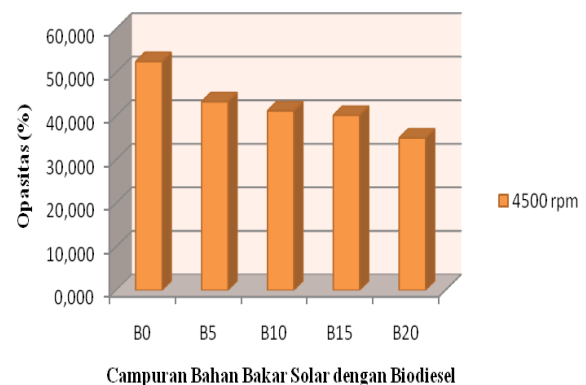
Gambar 7. Grafik Penurunan Opasitas ($\Delta\%$) Pada Berbagai Campuran Biodiesel

Berdasarkan gambar 7 dari data tabel 6 rata-rata grafik penurunan opasitas dari putaran 1500 rpm sampai putaran 4000 rpm dapat dilihat yang yang paling baik penurunan opasitas pada campuran B10 yaitu sebesar

66,67%, pada putaran 2500 rpm. Hal ini karena campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar mendekati campuran sempurna dan bahan bakar biodiesel yang tidak mengandung sulfur dan kandungan oksigen yang lebih banyak sehingga opasitas yang dikeluarkan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan solar.

Hasil penelitian ini ditunjukkan campuran bahan bakar solar dengan biodiesel dari minyak biji kapas dapat mengurangi opasitas yang dihasilkan oleh mobil Mitsubishi Kuda Diesel tahun 2000 daripada menggunakan bahan bakar solar. Penurunan opasitas yang paling baik pada campuran B10 yaitu sebesar 66,67% dan rata-rata penurunan opasitas yang paling baik pada campuran B15.

Diagram Batang Opasitas (Full Open Throttle Valve)



Gambar 8. Grafik Penurunan Opasitas (%) Pada Berbagai Campuran Biodiesel dengan Full Open Throttle Valve

Pada gambar 8 terdapat grafik penurunan opasitas pada mesin Mitsubishi kuda Diesel. Penurunan opasitas yang paling baik yaitu pada campuran B20 karena semakin banyak campuran biodiesel akan menurunkan atau mereduksi opasitas pada kendaraan tersebut dan lebih ramah pada lingkungan. Penurunan opasitas yang paling baik pada campuran bahan bakar biodiesel B20 karena semakin banyak kandungan oksigen dan hidrogen. Serta kandungan sulfur sudah tidak ada.

No	Variasi campuran	Standar Pemerintah	Hasil Penelitian	Keterangan
1	B0	70%	52,510%	Lulus Uji Emisi
2	B5	70%	43,280%	Lulus Uji Emisi
3	B10	70%	41,200%	Lulus Uji Emisi
4	B15	70%	40,180%	Lulus Uji Emisi
5	B20	70%	34,970%	Lulus Uji Emisi

Tabel 7. Perbandingan Opasitas (%) Variasi Campuran Biodiesel Dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Tahun 2006

Pada tabel 7 terdapat perbandingan opasitas bahan bakar biodiesel dari minyak biji kapas dengan keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2006 pada mesin Mitsubishi kuda Diesel. Bahan bakar biodiesel dari minyak biji biji kapas (B5, B10, B15, dan B20) dapat mereduksi opasitas dibandingkan dengan bahan bakar solar (B0). Metanol digunakan juga sebagai

aditif campuran bahan bakar yang menyediakan oksigen dan meningkatkan panas penguapan serta berpotensi mereduksi jumlah PM (*Particular Matter*) (Lei Zhu et al, 2010). Bila dibandingkan dengan solar, biodiesel bersifat lebih ramah lingkungan karena memiliki sifat pelumasan yang baik terhadap torak, termasuk kelompok minyak tidak mengering, bebas sulfur, tidak terdapat racun (*non-toxic*) sehingga opasitas bisa lebih rendah (Hambali, 2006).

PENUTUP

Simpulan

Dari hasil penelitian, analisa, dan pembahasan yang telah dilakukan tentang uji kemampuan campuran bahan bakar solar dengan biodiesel dari minyak biji kapas terhadap kinerja dan opasitas mesin diesel Mitsubishi Kuda tahun 2000 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Campuran bahan bakar solar dengan biodiesel dari minyak biji kapas pada mesin diesel mitsubishi Kuda 2000 lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar solar dari segi kinerja mesin. Hal ini dibuktikan dengan:
 - Torsi yang dihasilkan dengan menggunakan campuran bahan bakar biodiesel B20 sebesar 2,50 kgf.m dengan persentase peningkatan sebesar 18,84% pada putaran mesin 4500 rpm dibandingkan dengan solar sebesar 2,10 kgf.m pada putaran mesin 4500 rpm. Rata-rata torsi tertinggi yaitu pada campuran B20.
 - Daya efektif yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar biodiesel B10 sebesar 32,38 PS dengan persentase peningkatan sebesar 14,42% pada putaran mesin 4250 rpm dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar sebesar 13,60 PS pada putaran mesin 4500 rpm. Rata-rata daya efektif tertinggi yaitu pada campuran B20.
 - Tekanan efektif rata-rata yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar biodiesel B10 sebesar 0,69 kg/cm² dengan persentase peningkatan sebesar 14,42% pada putaran mesin 4250 rpm dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar sebesar 0,27 kg/cm². Rata-rata bmep tertinggi pada campuran B20.
 - Konsumsi bahan bakar yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar biodiesel B5 sebesar 3,43 kg/jam dengan persentase penurunan sebesar 14,46% pada putaran mesin 4500 rpm dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar sebesar 4,01 kg/jam.
- Dengan penambahan campuran biodiesel dari minyak biji kapas pada solar dapat menurunkan opasitas sebesar 5,340% dengan presentase mengalami penurunan 66,67% pada putaran 2500 rpm dibandingkan dengan solar 16,020% pada putaran mesin 2500 rpm. Rata-rata paling baik pada B15.
- Campuran bahan bakar biodiesel dengan solar yang optimal pada kinerja mesin dan opasitas yaitu campuran B15 dan B20.

Saran

Agar penelitian tentang campuran bahan bakar solar dengan biodiesel dari minyak biji kapas yang mungkin akan dilakukan pada masa yang akan datang lebih baik maka disampaikan saran-saran berikut:

- Penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan kinerja mesin dari berbagai campuran B5 sampai B20. Sehingga diharapkan ada penelitian lanjutan dengan campuran B25, B30, sampai B100 untuk mencari campuran yang paling baik.
- Untuk pengembangan lebih lanjut, dapat dilakukan dengan variasi tipe mesin diesel yang berbeda.
- Pada saat pengambilan data torsi dan daya menggunakan gear 4.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, Wiranto. 1988. Motor Bakar Torak. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- <http://www.otomotif.net/catsdocdpf.htm>, diakses 22 November 2013.
- Obert, Edward F. 1973. Internal Combustion Engine and Air Pollution (3rd ED). New York: Harper & Publishers, Inc.
- Swisscontact. 2001. Pengetahuan Dasar Kendaraan Niaga (Bus). Jakarta: Swisscontact.
- Suherman, Wahid. 1987. Pengetahuan Bahan. Surabaya: ITS.
- Sukoco, Arifin. 2008. Teknologi Motor Diesel. Bandung: Alfabeta.
- Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FT Unesa. Surabaya.
- Warju. 2009. Pengujian Performa Mesin Kendaraan Bermotor. Surabaya: Unesa University Press.
- Warju. 2011. Teknologi Reduksi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin FT Unesa.
- Heywood, John B. 1988. Internal Combustion Engine Fundamentals. New York: McGraw-Hill.
- Robert Bosch GmbH. 1999. Diesel Engine Management. Jerman: Stuttgart.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2004. Acuan Kerja Spot Check/Uji Petik Kendaraan Bermotor di Jalan Raya. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup.
- Toyota Astra Motor. 1995. Materi Pelajaran Engine Group. Jakarta: PT. Toyota Astra Motor
- <http://www.weather.com/cuaca>
- <http://www.biodieselindustriestech.com>
- <http://putraprabu.wordpress.com>
- <http://www.otomotif.net>